



**TUGAS AKHIR - TM 091585**

# **STUDI EKSPERIMEN ANALISA KOEFISIEN GESEK PADA SAAT TERJADI FENOMENA STICK-SLIP FRICTION PADA RECIPROCATING CONTACT**

**Ruben Simatupang**  
**NRP. 2110 100 013**

**Dosen Pembimbing**  
**Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E**  
**NIP. 196511031990021001**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - TM 091585

# **STUDI EKSPERIMEN ANALISA KOEFISIEN GESEK PADA SAAT TERJADI FENOMENA STICK-SLIP FRICTION PADA RECIPROCATING CONTACT**

Ruben Simatupang  
NRP 2110 100 013

Dosen Pembimbing  
Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E.  
NIP. 196511031990021001

Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TM 091585

# **EXPERIMENTAL STUDY OF FRICTION COEFFICIENT ANALYSIS OCCUR IN THE EVENT OF STICK-SLIP FRICTION PHENOMENA IN RECIPROCATING CONTACT**

Ruben Simatupang  
NRP 2110 100 013

Adviser Lecturer  
**Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E.**  
**NIP. 196511031990021001**

Mechanical Engineering Department  
Industrial Engineering Faculty  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

# **Studi Eksperimen Analisa Koefisien Gesek Pada Saat Terjadi Fenomena Stick-Slip Friction Pada Reciprocating Contact**

## **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Desain  
Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**Ruben Simatupang**  
**Nrp. 2110 100 013**

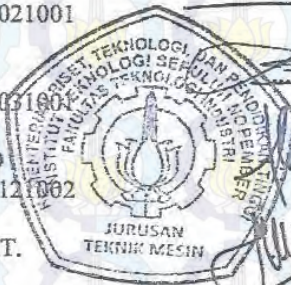
Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Yusuf Kaelani M.Sc.E.  
NIP. 196511031990021001

2. Ir. J. Lubi  
NIP. 194802201976031901

3. Hendro Nurhadi Ph.D  
NIP. 197511202002121002

4. Ari Kurniawan ST.MT.  
NIP. 210150201



..... (Pembimbing I)

..... (Penguji I)

..... (Penguji II)

..... (Penguji III)

**SURABAYA**  
**Januari, 2016**

# **STUDI EKSPERIMEN ANALISA KOEFISIEN GESEK PADA SAAT TERJADI FENOMENA *STICK-SLIP* *FRICTION* PADA *RECIPROCATING CONTACT***

**Nama Mahasiswa : Ruben Simatupang**  
**NRP : 211 010 013**  
**Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E.**

## **ABSTRAK**

Gaya gesek merupakan salah satu fenomena yang ada di dunia industri. Dalam gaya gesek terdapat perubahan dari statis ke dinamis, dari perubahan gaya gerak tersebut terdapat fenomena *stick slip*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji gaya gesek pada saat terjadi fenomena *stick-slip*. Jika gaya yang dikerjakan cukup untuk menggerakkan benda, maka gerakannya disebut dengan gaya kinetis. Namun, gesekan dapat saja mempunyai gabungan antara statis dan kinetis. Gesekan itu *stick-slip friction*. *Stick-slip friction* juga terjadi ketika gerakan suatu benda mencapai kecepatan nol atau diam seketika kemudian bergerak kembali.

Pengujian kali ini dilakukan untuk mengetahui nilai koefisien gesek *statis* dan *kinetis* pada saat *stick-slip* dan waktu fase *stick-slip* pada kontak secara *reciprocating* dari sebuah kontak material yang digunakan pada *Tribometer Reciprocating Pin on Plate*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 2 material yang saling bergesekan. Pada saat material bergesekan, camera di gunakan untuk merekam proses gesekan. Video tersebut di gunakan sebagai dasar mendapatkan gaya (F) dan percepatan (a). Video tersebut di-*ekstrak* menggunakan *software kinovea* menjadi *perframe-frame* yang nantinya sebagai acuan dalam pengolahan data.

Hasil di dapat dari penelitian ini adalah koefisien gesek ( $\mu$ ) antara *steel* dan *acrylic* yang mengalami kontak secara *reciprocating* diketahui fase waktu terjadi *stick-slip* pada pembebanan 1kg, 3kg, dan 5kg cenderung meningkat. Pada beban

1kg waktu yang di butuhkan dari keadaan bergerak diam kemudian bergerak kembali rata-rata adalah 0,5s, pada beban 3kg rata-rata 0,57 dan pada beban 5kg rata-rata 1,2 s. Koefisien gesek pembebanan 1kg, 3kg, dan 5kg cenderung meningkat. Pada beban 1kg rata-rata 0,16-0,25, pada beban 3 kg rata-rata 0,16–0,24, dan pada beban 5 kg rata rata 0,2 – 0,27. Pada gaya dorong *dari pneumatic* dengan pembebanan 1kg rata-rata 4N-7N, pada pembebanan 3kg rata-rata 6N-7N, dan pada beban 5kg rata-rata 10N-12N.

***Kata Kunci : stick-slip friction, statis, kinetis, reciprocating***



# EXPERIMENTAL STUDY OF FRICTION COEFFICIENT ANALYSIS OCCUR IN THE EVENT OF STICK-SLIP FRICTION PHENOMENA IN RECIPROCATING CONTACT

Nama Mahasiswa : Ruben Simatupang  
NRP : 211 010 013  
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS  
Dosen Pembimbing : Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E.

## ABSTRAK

*Abstract Frictional force is one of the phenomena that exist in the industrialized world. In the frictional force there is a change from static to dynamic, from the change in force these are stick-slip phenomenon. The aim of this study was to assess the frictional forces in the event of stick-slip phenomenon. If the force is done enough to move objects, the motion called kinetic force. However, the friction may have a combination of static and kinetic. Friction was stick-slip friction. Stick-slip friction also occurs when the movement of an object reaches zero speed or silent once and then move back.*

*Testing was conducted to determine the value of the static and kinetic coefficient of friction at the time of stick-slip and stick-slip phase time in reciprocating contact of a contact material used in Tribometer Reciprocating Pin on Plate. Tests carried out using two materials rubbing together. At the time of friction material, camera used to record the process of friction. The video was used as a base to get the force ( $F$ ) and acceleration ( $a$ ). The video on-extract using software kinovea into parts that later as a reference in processing the data.*

*Results obtained from this study is the coefficient of friction between the steel and acrylic who have known reciprocating contact phase occurs when stick-slip on loading 1kg, 3kg and 5kg tends to increase. At 1kg load time is needed from keadaan move silently and then move back the average is 0,5s, on average 3kg load of 0.57 and at 5kg load average of 1.2*

s. Coefficient of friction loading 1kg, 3kg and 5kg tends to increase. At 1kg load average from 0.16 to 0.25, the load 3 kg on average 0.16 to 0.24, and the average load of 5 kg of 0.2 to 0.27. On the thrust of the pneumatic with an average loading 1kg 4N-7N, on average 3kg loading 6N-7N, and on average 5kg load of 10N-12N.

**Keywords:** *stick-slip friction, static, kinetic, reciprocating*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Studi Eksperimen Analisa Koefisien Gesek Pada Saat Terjadi Fenomena Stick-Slip Friction Pada Reciprocating Contact” dengan sebaik-baiknya. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST).

Selama penyusunan Tugas Akhir ini penulis telah menerima banyak sekali bantuan dari berbagai pihak. Oleh karenanya dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua dan kakak saya yang senantiasa memberikan dukungan semangat dan doa dari jauh selama masa kuliah hingga saat ini.
2. Bapak Ir. Yusuf Kaelani, Msc.E. sebagai dosen pembimbing yang terus memberikan bimbingan, support pengetahuan dan juga moril hingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya.
3. Bapak Ir. J.Lubi sebagai dosen penguji dalam tugas akhir ini.
4. Bapak Hendro Nurhadi Ph.D, sebagai dosen penguji dalam tugas akhir ini.
5. Bapak Ari Kurniawan ST.MT selaku dosen penguji dalam tugas akhir ini.
6. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Sc., Ph.D sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin-ITS.
7. Segenap dosen, staf, dan karyawan Jurusan Teknik Mesin, terima kasih atas segala yang telah diberikan.
8. Saudara – Saudaraku yang senantiasa memberikan dukungan, semangat dan doa dari jauh selama masa kuliah hingga saat ini.
9. Kawan-kawan M53 yang berjuang bersama

10. Mas Yuli, Cak Nur, Cak Anam, Cak Agus yang sudah menemani di bengkel, semoga bisa membangun bengkel sendiri

11. Om Weli, Om Gogon, Om MAT yang sudah memberi tumbangan di kontrakan untuk mengerjakan tugas akhir ini.

12. Dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis selalu membuka kritik dan saran yang bersifat konstruktif untuk hasil yang lebih baik. Akhir kata dengan segala kerendahan hati, penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi diri sendiri dan pihak-pihak yang menggunakannya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	x

### BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	3

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Literatur 1 .....	5
2.1.1. Contact Area.....	8
2.1.2 Stick Slip .....	11
2.2 2.2 Literatur 2 .....	12
2.3 2.3 Gesekan.....	13

### BAB III METODOLOGI

3.1 Langkah-langkah Penelitian .....	17
3.1.1. Studi Literatur dan Perumusan Masalah.....	18
3.1.2. Penentuan Variable dan Pembuatan Spesimen.....	19
3.1.3. Pengambilan Data Penelitian .....	21
3.1.4. Penggolahan Data Untuk.....	23
3.1.5. Analisa Data Penelitian.....	26
3.1.6. Kesimpulan dan Saran.....	26
3.2 Spesifikasi peralatan tribometer .....	27
3.3 Spesifikasi specimen uji .....	28

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Pengujian <i>Dry sliding</i> .....	29
4.2 Perhitungan Pengujian <i>Dry Sliding</i> .....	29
4.3 Analisa gesekan <i>stick-slip</i> .....	31
4.3.1 Pada pembebanan 1 kg .....	31
4.3.2 Pada pembebanan 3 kg .....	33
4.3.3 Pada pembebanan 5 kg .....	35
4.4 Perbandingan Stick-Slip dengan beban 1kg, 3 kg, 5kg.....	37

## **BAB V KESIMPULAN**

5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	42

## **DAFTAR PUSTAKA**

### **BIODATA PENULIS**



## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 Pad-on-disk Tribometer dengan Glass Plate

Gambar 2.2 Scale brake dynamometer

Gambar 2.3 Grafik koefisien dengan beban dan kecepatan serta fenomena fisik

Gambar 2.4 Grafik wear rate vs Beban

Gambar 2.5 Kondisi Fisik Permukaan bidang gesek dan spesimen

Gambar 2.6 Kondisi Spesimen dengan menggunakan mikroskop

Gambar 2.7 Grafik Koefisien Gesek terhadap Waktu

Gambar 2.8 Grafik koefisien gesek terhadap Waktu dengan beban Berbeda

Gambar 2.9 Skema dan Hasil Penelitian Dong Woog Lee

Gambar 2.10 Kontak Asperities Antara 2 Buah Permukaan Benda Padat

Gambar 2.11 Free Body Diagram Dua Benda Padat Yang Sedang Bergesekan

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.2 Visualisasi tipe pin on plate

Gambar 3.3 Instalasi Alat

Gambar 3.4 Diameter pin dan Spesimen uji

Gambar 3.5 Free Body Diagram suatu benda

Gambar 3.6 Slowmotion video menggunakan Kinovea

Gambar 3.7 Ekstrak video menjadi per frame-frame

Gambar 3.8 Mencari Selisih Jarak

Gambar 3.9 Mencari Selisih Gaya setiap Frame

Gambar 3.10. Konstruksi tribometer pin-on plate reciprocating secara tiga dimensi

Gambar 4.1 Grafik Koefisien gesek ( $\mu$ ) fungsi waktu pada beban 1kg

Gambar 4.2 Grafik Koefisien gesek ( $\mu$ ) fungsi waktu pada beban 3kg

Gambar 4.3 Grafik Koefisien gesek ( $\mu$ ) fungsi waktu pada beban 5kg

Gambar 4.4 Posisi Piston Pneumatic saat Gaya Dorong dan Gaya Tarik

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. Pengolahan Data Dengan Beban 1kg

LAMPIRAN 2. Pengolahan Data Dengan Beban 3kg

LAMPIRAN 3. Pengolahan Data Dengan Beban 5kg



**(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)**





## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Material Rem pada mobil KIA Motor

Tabel 2.2. Kondisi Pengujian pada Tribometer

Tabel 2.3. Penentuan Kecepatan pada alat Tribometer

Tabel 3.1 Matriks rancangan hasil penelitian



**(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Tribology* adalah salah satu ilmu terapan di bidang teknik mesin yang mempelajari gesekan, keausan dan pelumasan, memberikan kontribusi dalam upaya meminimalkan keausan akibat kontak antara dua permukaan, sehingga dapat diterapkan di industri untuk menganalisa kasus kegagalan atau kerusakan pada komponen mesin

Salah satu fenomena yang terjadi dalam bidang pemesinan adalah fenomena kontak antar komponen. Kontak yang terjadi antar komponen bisa berupa *static contact*, *rolling contact*, atau *sliding contact*. Kontak mekanik (*contact mechanics*) merupakan hal yang penting, karena dapat mempelajari bagaimana struktur topografi permukaan (*asperity*) mengalami deformasi.

Gaya yang ditimbulkan oleh dua benda yang bergesekan dan arahnya berlawanan disebut dengan gaya gesek. Gaya gesek atau *friction* yang terjadi pada benda padat terdiri dari dua jenis, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis. Jika benda yang mengalami kontak tidak mengalami pergerakan, maka gesekannya disebut dengan gesekan statis. Jika gaya yang dikerjakan cukup untuk menggerakkan benda, maka gerakannya disebut dengan gaya kinetis. Namun, gesekan dapat saja mempunyai gabungan antara statis dan kinetis. Gesekan tersebut adalah *stick-slip friction*. *Stick-slip friction* juga



terjadi ketika gerakan suatu benda mencapai kecepatan nol atau diam seketika kemudian bergerak kembali.

Penelitian kali ini dilakukan untuk mengetahui nilai koefisien gesek statis dan kinetis dari sebuah benda yang bergesekan secara *reciprocating*. Serta mengetahui fenomena *stick-slip* dari sebuah kontak material yang akan digunakan pada *Tribometer Reciprocating Pin on Plate*. Pengujian dilakukan dengan cara merekam proses gesekan selama 10 detik lalu mencari percepatan dengan bantuan *software movie maker* untuk mengesekstrak menjadi per *frame-frame*. Beberapa variabel uji itu diantaranya seperti beban yang diberikan dan ada tidaknya pelumasan untuk bergesekan. Melalui penelitian ini kita dapat mengetahui fenomena *stick-slip* dari statis menuju kinetis.

Pada penelitian ini digunakan material uji *Steel* dengan *Acrylic*. Hal ini dilakukan karena material ini mudah didapat, banyak digunakan di dunia industri, rumah tangga dan alat kesehatan. Selain itu, material ini juga lebih murah daripada material yang sudah ada sebelumnya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengetahui nilai koefisien gesek pada saat *stick-slip* terjadi kontak secara *reciprocating*?
2. Bagaimana waktu fase *stick-slip* pada kontak secara *reciprocating*?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai koefisien gesek pada saat *stick-slip* terjadi kontak secara *reciprocating*.
2. Mengetahui waktu fase *stick-slip* pada kontak secara *reciprocating*.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Pada saat pengujian kondisi temperatur pada suhu ruangan.
2. Tidak ada material debris yang ikut menambah keausan.
3. Efek panas akibat gesekan diabaikan
4. Tidak ada pelumasan
5. Material yang digesekkan adalah *Steel* dan *Acrylic*.

#### **1.5 Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mahasiswa dapat lebih memahami ilmu *tribology*.
2. Mengetahui nilai koefisien gesek *statis* dan *kinetis* pada material yang saling kontak secara *reciprocating*.
3. Dapat memahami fenomena terbentuknya *stick-slip friction* pada permukaan yang saling kontak secara *reciprocating*.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Literatur 1

S.W Yoon di dalam papernya berjudul “*Effect of surface contact conditions on the stick-slip behavior of brake friction material*” menjelaskan mengenai permukaan kontak terhadap fenomena material yang bergesekan pada saat pengereman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis osilasi gesekan pada beban yang berbeda, kecepatan, dan topografi permukaan. Karakteristik gesekan pada permukaan gesek diperoleh dengan menggunakan tipe Tribometer pada pad-on-disk dan rem dynamometer 1/5 pada saat pengereman. Dan hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran dan kekakuan dari kontak permukaan dataran tinggi secara signifikan mempengaruhi stick-slip. Stick-slip amplitude meningkat dengan beban normal dan menurun dengan sliding speed.

Material untuk pengereman didapat dari Kia Motor Company dengan menggunakan alat X-rayfluorescence spectroscopy (XRF) yang ditunjukkan pada table 2.1.

Tabel 2.1. Material Rem pada mobil KIA Motor

XRF-analyzed composition of the friction material used in this study

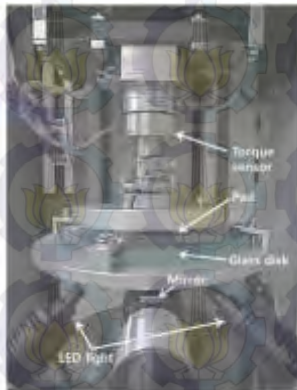
Element	wt%	Element	wt%
Fe	29.7	Sn	4.52
Ba	16.4	K	4.44
S	9.93	Sb	3.05
Si	8.94	Cu	2.81
Mg	5.89	Mn	1.58
Ti	4.67	Al	1.54

Dari analisis unsur, bahan gesekan ditemukan termasuk anggota baja Fe, Barium, keramik, kalium titanat, antimon sulfida, kuarsa, dan bahan-bahan lain. Namun, komposisi yang tepat dari material gesekan sulit untuk mendapatkan dengan teknik uji coba *reciprocating* karena adanya bahan-bahan organik. Menurut



klasifikasi bahan rem gesekan otomotif, ini milik jenis rendah baja bahan gesekan. Dalam urutan untuk mengukur kekakuan spesimen bahan gesekan, yang kompresibilitas diukur dengan menggunakan mesin uji universal (UTM-3367, Instron) hingga 10 kN.

Pengujian Tribologi dengan material gesekan geser diukur dengan menggunakan dua tribometers yang berbeda. Yang pertama adalah tipe pad-on-disk skala kecil Tribometer (UMT CETR), yang kedua adalah rem dynamometer 1/5-skala dengan caliper dioperasikan oleh tekanan hidrolik. Pad-on-disk Tribometer digunakan untuk mengukur koefisien gesek dan perubahan sebagai fungsi beban dan kecepatan geser serta untuk menganalisis permukaan dengan menggosokkan piring kaca. Sebuah rekaman real-time dari kontak Perubahan dilakukan dengan menggunakan perekam video berkecepatan tinggi (Hitachi, KP-FD140GV) untuk memeriksa pembentukan dan penghancuran dari permukaan proses gesekan yang di tunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pad-on-disk Tribometer dengan Glass Plate

Pengujian kedua adalah menggunakan alat *1/5 scale brake dynamometer* untuk melihat fenomena stick-slip. Sebelum mengukur stick-slip pada kecepatan rendah., gesekan material.

Tingkat keausan dihitung dengan membagi volume keausan oleh energi gesekan yang dihasilkan selama geser. Suhu disk diukur menggunakan panas inframerah

Tabel 2.2. Kondisi Pengujian pada Tribometer

Applied test conditions for generating secondary plateaus on the surface of the friction material.

Load (N)	Speed (mm/s)	Distance (mm)
50.0	5.2	3120
87.5		
125.0		
162.5		



Gambar 2.2 Scale brake dynamometer

Tabel 2.3. Penentuan Kecepatan pada alat Tribometer

Tribotest conditions for stick-slip generation using a 1/5-scale brake dynamometer.

Burnish	Load (kN)	Velocity (mm/s)	Process
	0.8, 1.2, 1.6, 2.0, 2.4, 3.2, 4.0, 4.8	16	5000 s × 10th
Stick-slip	The same at burnish	0.1–1.5	Drag: 200 mm

Suhu maksimum selama uji tongkat-slip adalah sekitar 50 oC, yang kurang dari tem- transisi kaca. Selama tribotests, kelembaban relatif dalam chamber dipertahankan sekitar 50%. Topografi permukaan bahan gesekan setelah meluncur tes diperiksa menggunakan mikroskop confocal laser (Keyence, VK-8700). Daerah dianalisis adalah sekitar 1,0 cm x 0,8 cm. Kontak dataran juga diukur dengan menggunakan tekanan sensitive yang menandai bidang kontak tekanan. Perhitungan bidang kontak dilakukan dengan menggunakan analisa gambar.

### 2.1.1. Contact Area

Bidang kontak pada permukaan pada bahan gesekan rem dipengaruhi oleh adhesi dan abrasi yang terjadi pada permukaan geser saat pengereman. Ini disebabkan oleh bidang kontak yang berubah sebagai fungsi dari beban. Dalam kasus material gesekan rem, bidang kontak jauh lebih kecil dari ukuran nyata. Kontak area bertambah seiring dengan naiknya beban karena kekasaran permukaan biasanya lebih besar dari beberapa puluh mikron, dan kontak permukaan dengan ketinggian yang berbeda. Bidang kontak praktis digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa daerah diperoleh dengan menggunakan contact pressure sensitive film untuk menunjukkan daerah yang tidak berkontak langsung.

Bidang kontak diukur setelah pengujian gaya gesek sebagai fungsi beban ditunjukkan pada Gambar. 3. Grafik ini menunjukkan bahwa bidang kontak meningkat sebagai fungsi beban. Grafik data menunjukkan bahwa bidang kontak, A, dengan persamaan :

$$A = \frac{1}{4} \alpha L^n \quad 2.1$$

dimana  $\alpha$  : konstanta yang tergantung pada material

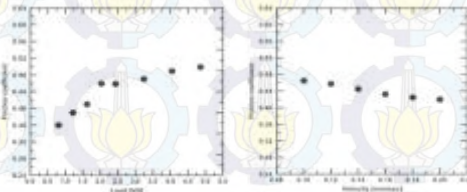
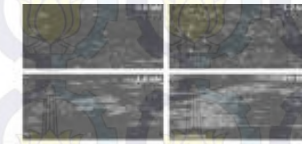
L : beban yang diberikan.

n : bilangan kontak Hertizan nilainya  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  dan 1

Sebelumnya bidang kontak berhubungan dengan kekerasan bahan dalam proses pengereman, di mana material

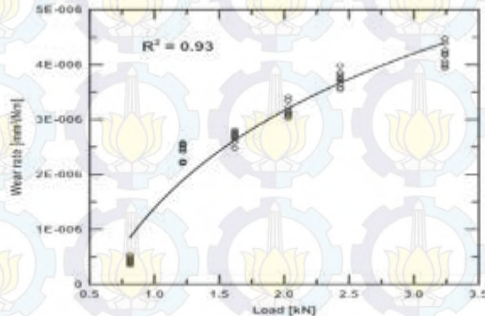


lunak yang dikompresi pada beban ringan dan material yang di uji sampai titik jenuh dengan kondisi material tidak sampai rusak. Setelah proses pengujian diperiksa menggunakan laser mikroskop confocal. Gambar di bawah ini menunjukkan permukaan kontak sebagai daerah putih di mikrograf, sehingga menunjukkan peningkatan bebansebanding dengan peningkatan bidang kontak pada sepanjang lintasan kontak.



Gambar 2.3 Grafik koefisien dengan beban dan kecepatan serta fenomena fisik

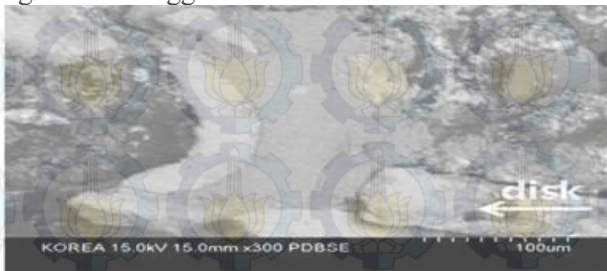
Tingkat keausan material gesekan diukur sebagai fungsi beban normal untuk mengetahui fenomena selama proses gesekan (Gambar. 2.4). Grafik menunjukkan bahwa wear rate berbanding lurus dengan beban.



Gambar 2.4 Grafik wear rate vs Beban



Gesekan antarmuka rem dan disk yang berputar juga diperiksa. Dengan menggunakan disk kaca dan video perekam dengan kecepatan tinggi saat dilakukan percobaan didapatkan hasil pada Gambar. 8 yang menunjukkan perubahan permukaan kontak setelah dilakukan pengujian sejauh 3.12 m. Gambar 8 menunjukkan permukaan bidang kerja lebih besar mengalami keausan daripada specimen uji dengan beban yang sama. Hal ini menunjukkan tingkat keausan nonlinier sebagai fungsi beban normal. Dimana keausan permukaan kontak lebih tahan aus pada beban yang relative tinggi



Gambar 2.5 Kondisi Fisik Permukaan bidang gesek dan spesimen

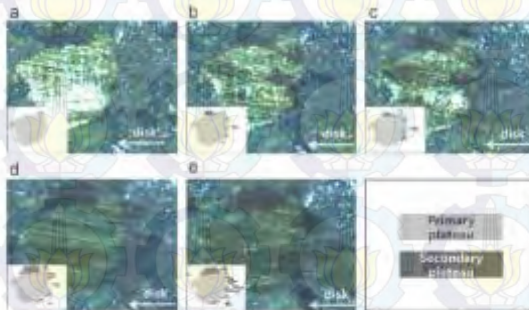
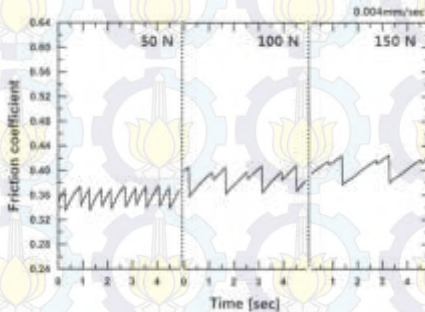


Fig. 8. Test of contact plateau found after sliding 3.12 m (a) initial condition and (b) (c) 50% (c) 87.5% (d) 125% (e) 162.5% (f)

Gambar 2.6 Kondisi Spesimen dengan menggunakan mikroskop

### 2.1.2 Stick Slip

Stick-slip pada saat sliding dengan pembebanan yang berbeda dan kondisi permukaan yang berbeda. Frekuensi dan amplitude stick-slip memiliki kecenderungan untuk merayap. Gambar 2.7 menunjukkan osilasi dari gesekan koefisien selama sliding, dan menunjukkan pola stick-slip yang khas. Stick-slip diukur dengan menggunakan *1/5 scale brake dynamometer* yang diberi beban berbeda. Grafik menunjukkan bahwa intensitas stick-slip meningkat sebagai fungsi beban sementara frekuensi berkurang. Secara khusus, itu ditunjukkan pada dua peristiwa stick-slip pada beban rendah (50 N) yang dilanjutkan dengan beban tinggi (150 N).



Gambar 2.7 Grafik Koefisien Gesek terhadap Waktu

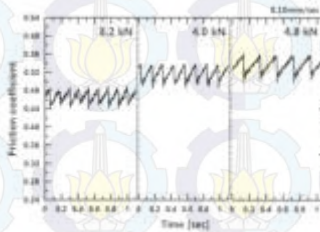


Fig. 17. Stick-slip during steady states in the stick-slip at right loads

Gambar 2.8 Grafik koefisien gesek terhadap Waktu dengan beban Berbeda

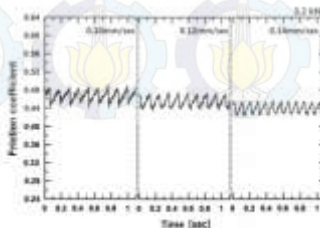
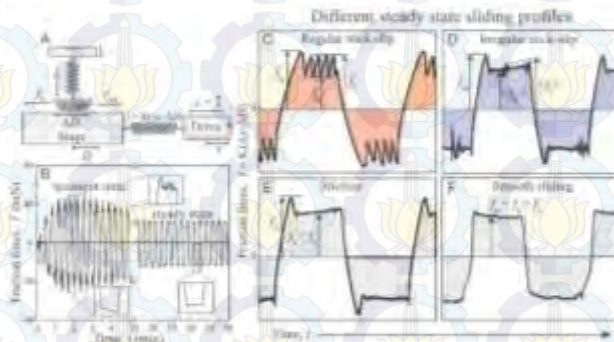


Fig. 18. Stick-slip at different sliding speeds

Gambar 2.8 juga menunjukkan bahwa kemiringan kurva tongkat menurun sebagai fungsi beban karena berbanding terbalik dengan beban ( $L$ ) dari hubungan  $\mu_k = (kv / L) t$ , di mana  $\mu_k$  adalah kinetik koefisien gesekan, dan  $v$  dan  $k$  yang kecepatan geser dan kekakuan.

## 2.2 Literatur 2

Dong Woog Lee dalam didalam papernya berjudul Stick-slip friction and wear of articular joints, memodelkan proses terjadinya stick slip pada saat kondisi sliding. Luasan kontak  $A$  member beban normal permukaan sebesar  $L$ . Bila kecepatan sliding secara intermitten  $v$  maka beban normal tersebut akan membangkitkan gaya gesek  $f_0$ . Jarak yang ditempuh oleh permukaan kontak adalah  $\Delta D$ . Gaya reaksi kekakuan permukaan material akibat gaya gesek ini  $f$ . Pemodelan Kontak Area diatas dikenal sebagai Surface Force Apparatus (SFA). Skema pemodelan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.9 Skema dan Hasil Penelitian Dong Woog Lee, Xavier Banquy, dan Jacob N. Israelachvili

Dalam gambar 2.9, gaya ( $f$ ) yang dikenakan pada pegas mendorong drive ke stage dan kecepatan ( $v$ ) drive berbeda dari gaya gesek interfacial ( $f_0$ ) dan kecepatan sliding ( $v_{int}$ ). Berawal



dari kondisi diam, stage akan bergerak apabila gaya ( $f$ ) mencapai gaya gesek ( $f_0$ ). Jika gaya gesekan statis (disebut juga stiction,  $f_{st}$ ) lebih besar dari gaya gesek kinetik ( $f_k$ ), maka kecepatan stage akan meningkat dengan pesat ( $v_{int}$ ) lebih besar daripada kecepatan slider ( $v$ ), dan pegasnya akan tertekan. Pada titik ini, kecepatan stage akan berkurang sampai akhirnya berhenti, dimana gaya gesek kembali pada nilai puncaknya ( $f_{st}$ ). Siklus ini disebut dengan Stick-slip, dapat diulangi selama driver bergerak dalam kecepatan stabil / konstan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menggunakan peralatan *Surface Forces Apparatus* untuk menentukan apakah efek dari stick-slip pada morfologi permukaan tulang rawan dalam berbagai macam kondisi loading dan sliding. Perbedaan load dan kecepatan area digambarkan oleh peta gesekan (friction maps) yang membedakan antara area yang halus dan area *stick-slip sliding*. Hasil dari penelitian ini adalah kerusakan umumnya terjadi pada saat *stick-slip* dan tidak berhubungan langsung dengan besarnya koefisien gesek. Paparan secara terus menerus ke permukaan tulang rawan hingga *stick-slip sliding* menghasilkan peningkatan yang signifikan dari kekasaran permukaan. Hal ini menunjukkan bahwa ada kerusakan morfologi (bentuk) yang cukup parah pada permukaan tulang rawan.

### 2.3 Gesekan

Gaya gesek adalah gaya yang mempunyai arah yang berlawanan dengan arah gerak benda atau arah kecenderungan benda akan bergerak. Gaya gesek muncul apabila dua buah benda bersentuhan. Benda-benda yang dimaksud di sini tidak harus berbentuk padat, melainkan dapat pula berbentuk cair, ataupun gas. Gaya gesek antara dua buah benda padat misalnya adalah gaya gesek statis dan kinetis, sedangkan gaya antara benda padat dan cairan serta gas adalah gaya *Stokes*. Ketika benda yang permukaannya sedang mengalami kontak bergerak relatif satu sama lain, gesekan antara dua permukaan akan mengubah energi kinetik menjadi panas.



Dalam studi material atau biasa disebut *material science* diketahui bahwa pada permukaan logam yang sekalipun terlihat sangat mulus ternyata memiliki *asperities* atau permukaan yang kasar bila dilihat dalam skala mikroskopis, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.10. Pada keadaan dua logam yang bergesekan, *asperities* inilah yang menimbulkan pergesekan serta keausan.



Gambar 2.10 Kontak Asperities Antara 2 Buah Permukaan Benda Padat

Terdapat dua jenis gaya gesek antara dua buah benda padat yang saling bergerak lurus, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis.

Gaya gesek statis merupakan gaya akibat adanya gesekan antara dua benda padat yang tidak bergerak relatif satu sama lainnya. Sebagai contoh, gesekan statis dapat mencegah benda meluncur ke bawah pada bidang miring. Koefisien gesek statis umumnya dilambangkan dengan  $\mu_s$ . Gaya gesek statis dihasilkan dari sebuah gaya yang diaplikasikan tepat sebelum benda yang bersentuhan bergerak. Gaya gesek maksimum antara dua permukaan sebelum gerakan terjadi adalah hasil dari koefisien gesek statis dikalikan dengan gaya normal  $F_f = \mu_s F_n$ . Ketika tidak ada gerakan yang terjadi, gaya gesek dapat memiliki nilai dari nol hingga gaya gesek maksimum.



Gambar 2.11 *Free Body Diagram* Dua Benda Padat Yang Sedang Bergesekan

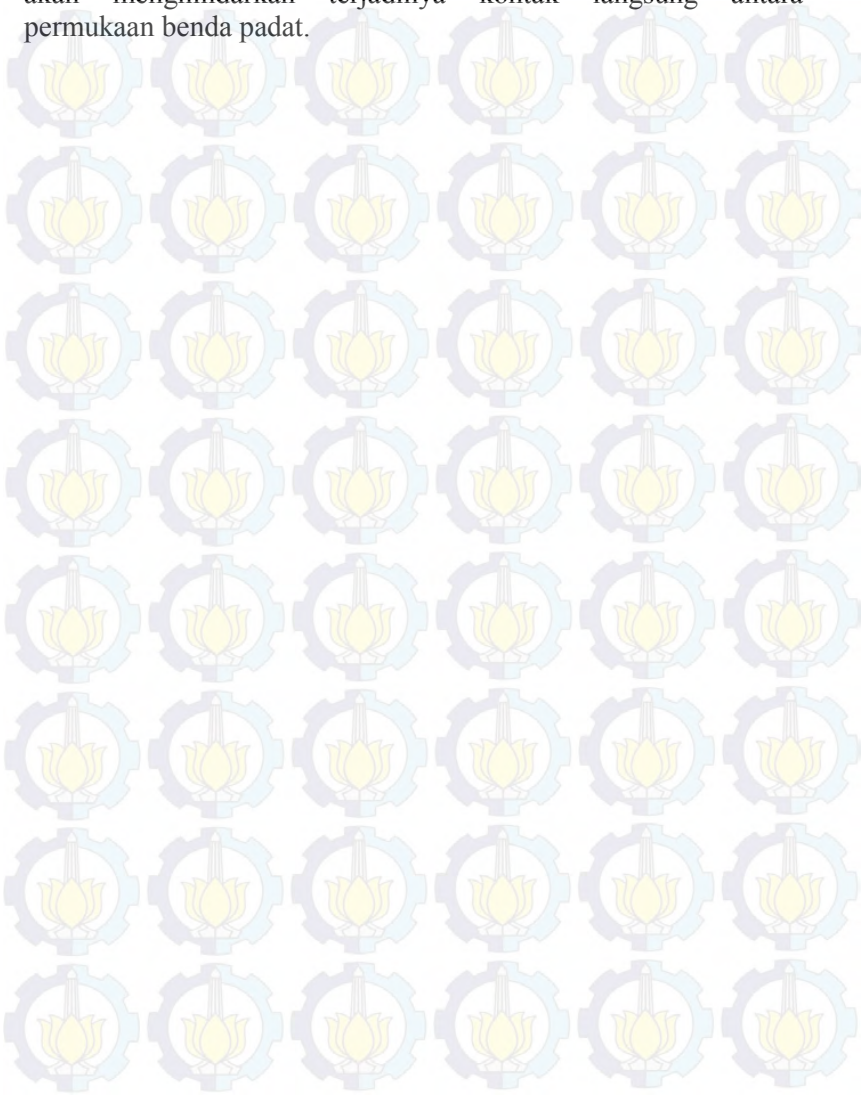
Pada Gambar 2.11 dapat dilihat gaya-gaya yang terdapat pada dua benda padat yang sedang melakukan kontak. Setiap gaya luar ( $F_{\text{ext}}$ ) yang lebih kecil dari gaya gesek ( $F_f$ ) maksimum yang berusaha untuk menggerakkan salah satu benda akan dilawan oleh gaya gesek yang setara dengan besar gaya luar tersebut, namun dengan arah yang berlawanan. Sedangkan setiap gaya luar yang lebih besar dari gaya gesek maksimum akan menyebabkan gerakan terjadi. Setelah gerakan terjadi, gaya gesek statis tidak lagi dapat digunakan untuk menggambarkan kinetika benda, sehingga digunakan gaya gesek kinetis.

Gaya gesek kinetis (atau dinamis) terjadi ketika dua benda bergerak relatif satu sama lainnya dan saling bergesekan. Koefisien gesek kinetis umumnya dilambangkan dengan  $\mu_k$  dan pada umumnya selalu lebih kecil dari koefisien gaya gesek statis untuk material yang sama.

Gaya gesek dapat merugikan juga bermanfaat. Gaya gesek dapat bermanfaat karena tanpanya manusia tidak akan dapat berpindah tempat disebabkan gerakan kaki yang hanya akan menggelincir di atas lantai, juga tanpa adanya gaya gesek mobil tidak akan dapat bergerak disebabkan ban mobil yang hanya akan slip terhadap jalan. Gaya gesek dapat merugikan karena dapat menyebabkan panas dan aus pada poros yang berputar.

Berbagai cara dapat dilakukan dalam mengurangi gesekan. Penggunaan perangkat seperti *ball bearing* dapat mengubah gesekan tipe *sliding* menjadi gesekan tipe *rolling* sehingga gaya gesek yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Penggunaan pelumas juga merupakan salah satu cara yang umum

digunakan dalam mengurangi gesekan karena adanya pelumas akan menghindarkan terjadinya kontak langsung antara permukaan benda padat.

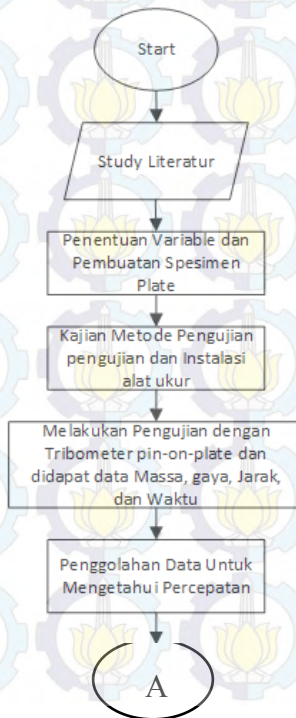




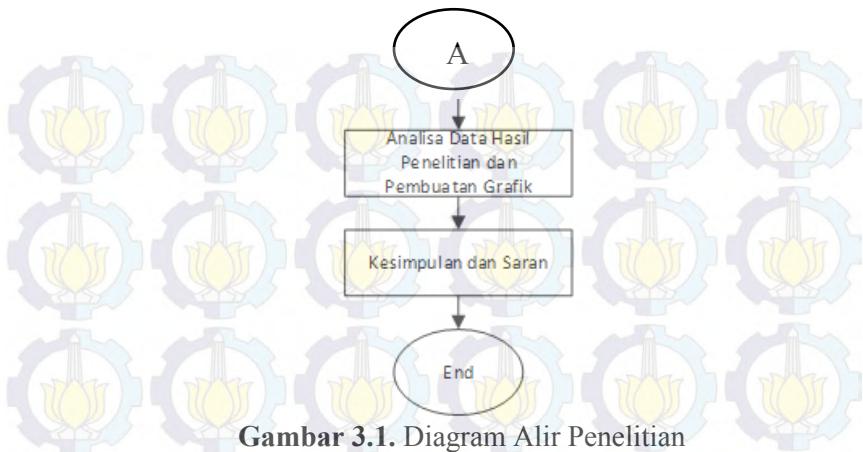
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Langkah-langkah Penelitian

Pada penelitian ini, langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian adalah pengujian secara eksperimental dan analitis, yaitu pengambilan secara langsung dari alat uji, pengolahan data dengan menggunakan *software* movie maker, perhitungan dan pembuatan grafik dan pengamatan struktur fisik. Secara umum metodologi penelitian dapat dijabarkan pada diagram alir sebagai berikut:







**Gambar 3.1.** Diagram Alir Penelitian

#### **3.1.1. Studi Literatur dan Perumusan Masalah**

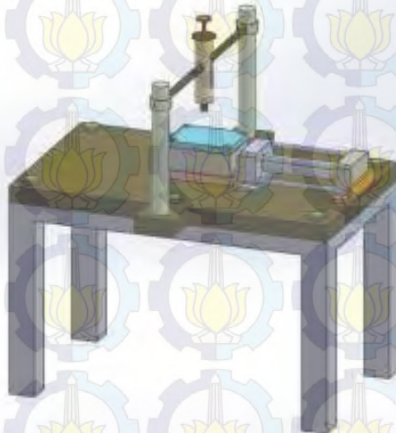
Langkah awal dalam penelitian ini adalah studi literatur. Tujuan dilakukannya studi literatur adalah untuk membantu penulis dalam merumuskan masalah, menentukan hal-hal yang perlu dilakukan agar tidak terjadi duplikasi penelitian atau karya di masa lalu yang sudah pernah dilakukan oleh peneliti lain, Serta pengkajian teori-teori yang mendukung penelitian yang akan dilakukan. Sumber yang digunakan dalam studi literatur ini adalah abstrak hasil penelitian, jurnal, dan buku referensi.

Dengan teori yang ada dan di dukung oleh penelitian terdahulu maka dapat di rumuskan beberapa permasalahan dari penelitian ini.

Gaya gesek yang timbul dari benda bergerak sering di abaikan. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh dari gaya gesek stasis dan gaya gesek dinamis pada material yang saling kontak secara *reciprocating*, dan juga bagaimana fenomena yang terbentuk.

### 3.1.2 Penentuan Variable dan Pembuatan Spesimen Plate

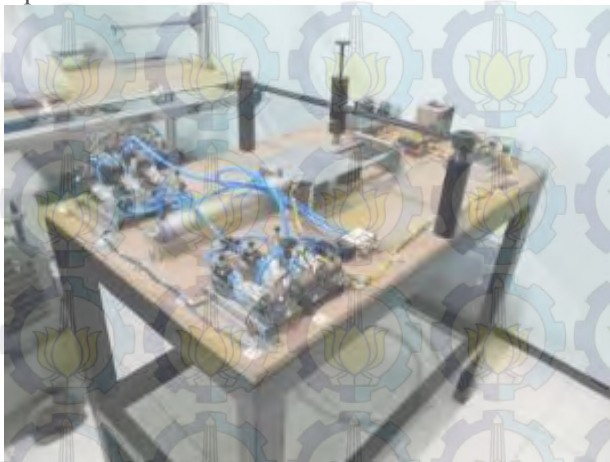
Secara garis besar, dalam penelitian ini, variabel yang digunakan, yaitu variable kecepatan. Masing-masing penelitian diberikan variable yang sama yaitu dengan jarak sejauh  $s = 10$  cm, 3 variasi pembebanan (1kg, 2kg, dan 5kg), sliding speed 130 mm/s. Pengambilan variasi pembebanan tersebut berdasarkan angka estimasi saja dan disesuaikan dengan spesifikasi dari tribometer tersebut. Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan kondisi yang ada dipasaran yaitu jenis *Steel* dan *Acrylic*.



Gambar 3.2 Visualisasi tipe pin on plate

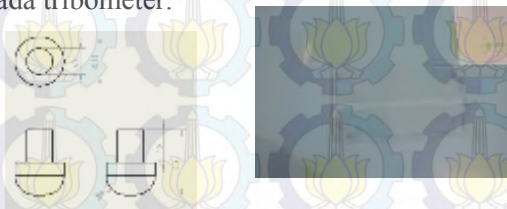
Untuk memulai penelitian dengan berbagai variasi data, yang pertama dilakukan adalah menentukan beban yang diperlukan untuk penelitian, penentuan sliding speed. Lalu setelah itu pemasangan pressure gauge pada katup pneumatic untuk mengetahui gaya yang dikeluarkan oleh pneumatic. Lalu pemasangan alat ukur pada lintasan tribometer. Hal ini digunakan untuk membantu dalam proses pengolahan data. Selanjutnya pemasangan kamera pada alat tribometer untuk merekam proses

gesekan yang terjadi. Setelah instalasi alat terpasang maka pengujian dapat dilakukan.



Gambar 3.3 Instalasi Alat

Sebelum penelitian dilakukan, terlebih dahulu spesimen disiapkan terlebih dahulu. Spesimen yang digunakan terdiri dari *Steel ST32* sebagai pin dan *Acrylic* sebagai plat yang mana kedua benda tersebut akan saling digesekan. Pin spesimen merupakan benda berbentuk silinder yang memiliki diameter bertingkat, yaitu 8 mm dan 15 mm dengan panjang masing-masing 10 mm dan permukaannya berbentuk  $\frac{1}{4}$  lingkaran dengan radius 6 mm. Sementara untuk untuk plat yang digunakan memiliki dimensi 150 mm x 80 mm x 6 mm. Ukuran ini merupakan ukuran perancangan dari pin dan plat spesimen yang akan dilakukan pengujian pada tribometer.



Gambar 3.4 Diameter pin dan Spesimen uj



### 3.1.3 Pengambilan Data Penelitian

Ini merupakan tahap dalam pengambilan data pada penelitian ini. Sebelum memulai pengambilan data dibutuhkan pemahaman karakteristik dari alat tersebut agar tidak terjadi kesalahan dalam pengambilan data.

Dalam teori gaya gesekan, terdapat dua jenis gaya gesek yakni gaya gesek statis ( $f_s$ ) dan gaya gesek kinetis ( $f_k$ ). Gaya gesek statis bekerja ketika benda belum bergerak sedangkan gaya gesek kinetik bekerja ketika benda sedang bergerak. Jika anda mendorong sebuah meja tetapi meja belum bergerak maka gaya gesek yang bekerja pada meja yang sedang diam adalah gaya gesek statis. Sebaliknya ketika meja sedang bergerak, gaya gesek yang bekerja pada meja adalah gaya gesek kinetis. Apabila meja yang sedang bergerak tidak tetap didorong, meja akan berhenti setelah bergerak beberapa saat. Meja berhenti akibat adanya gaya gesek kinetis yang menghambat gerakan meja.

Hukum II Newton menyatakan bahwa jika resultan gaya yang bekerja pada sebuah benda tidak sama dengan nol maka benda akan mengalami percepatan. Besar percepatan sebanding dengan besar gaya total dan berbanding terbalik dengan massa benda. Arah percepatan sama dengan arah gaya total.

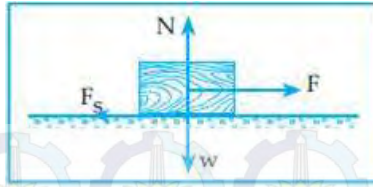
Secara matematis, Hukum Newton II dapat dituliskan :

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a}$$

3.1

Keterangan (satuan) :  $\sum F$  = resultan gaya ( $\text{Kg m/s}^2$ )  
 $m$  = Massa Benda ( $\text{Kg}$ )  
 $a$  = percepatan ( $\text{m/s}^2$ )





Gambar 3.5 *Free Body Diagram* suatu benda

Untuk gaya gesek statis dapat di tulis :

$$\sum F = m \cdot a \quad \text{statis } a \text{ (percepatan)} = 0 \text{ maka}$$

$$F - F_s = 0$$

$$F = F_s \quad \text{dimana } F_s = \mu_s \cdot N$$

$$\mu_s = F / N \quad 3.2$$

Sedangkan untuk gaya gesek kinetis :

$$\sum F = m \cdot a$$

$$F - f_k = m \cdot a \quad \text{dimana : } f_k = \mu_k \cdot N$$

$$\mu_s = (F - (m \cdot a)) / N \quad 3.3$$

Pada penelitian ini, alat uji di jalankan selama 10s di rekam oleh kamera fungsinya untuk merekam pressure gauge dan perpindahan pin terhadap specimen. Dengan rekaman tersebut nanti akan di gunakan untuk mengetahui perpindahan dan gaya per setiap waktu.

Dalam perhitungan :

- Pressure Gauge



$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

Berarti F didapat dari gaya dorong pressure gauge per  $\text{m}^2$ .

Dalam satuan pressure gauge adalaah kPa

### 3.1.4 Pengolahan Data Untuk Mengetahui Percepatan

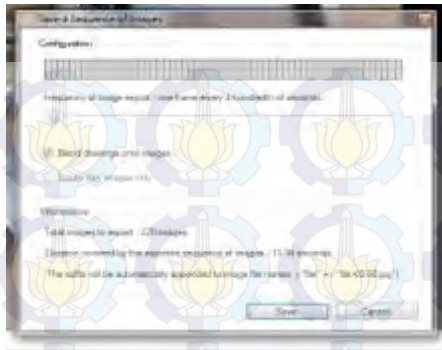
Dalam *software kinovea* video yang di rekam selama 10 detik dalam pengujian dapat di diekstrak menjadi per frame-frame untuk menunjang perhitungan percepatan dan gaya dari pneumatic. Sebagai contoh video berdurasi 10 detik dapat di perlambat menjadi 60-frame/detik. Jadi untuk video berdurasi 10 detik kita mendapatkan 600 data yang di olah menjadi per frame-frame



Gambar 3.6 *Slowmotion* video menggunakan *Kinovea*

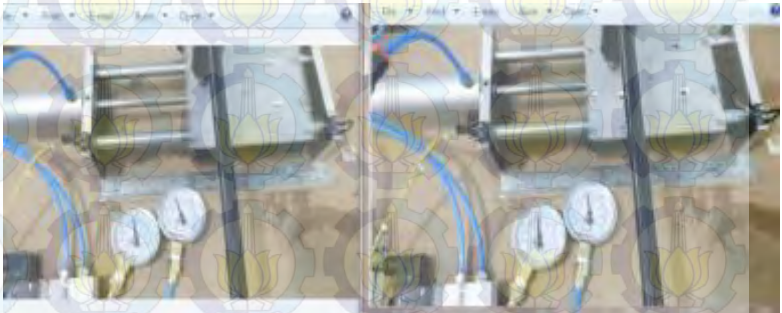
Langkah-langkah untuk mendapatkan nilai percepatan per-frame :

1. Meng-ekstrak video berdurasi 10 detik menjadi per-frame-frame. Pada 1 detik di ekstrak menjadi 60 frame/detik, sehingga untuk video berdurasi 1 detik = 60 frame, maka untuk 10 detik terdapat 600 data.



Gambar 3.7 Ekstrak video menjadi per frame-frame

## 2. Mencari Selisih Jarak per Frame



Gambar 3.8 Mencari Selisih Jarak



### 3. Mencari Gaya (F) pada pressure gauge setiap frame



Gambar 3.9 Mencari Selisih Gaya setiap Frame

### 4. Mencari Kecepatan Frame

Untuk mencari kecepatan setiap frame didapat dengan cara :

$$\text{Kecepatan ( V )} = \frac{(S_1)}{T_1} \quad 3.4$$

Dimana:  $S_1$  = Jarak frame 1

$T_1$  = Waktu per frame ( didapat dari perhitungan 1 detik  
= 60 frame )

### 5. Mencari Percepatan ( a ) per frame

$$\text{Percepatan ( a )} = \frac{(\Delta V)}{\Delta T} \quad 3.5$$

Dimana :  $\Delta V$  = Perubahan kecepatan  $V_2 - V_1$

$\Delta T$  = Selisih waktu dari frame 2 – frame

Kemudian setelah dilakukan pengujian, Hasil dari pengamatan data tersebut dimasukkan ke dalam table 3.1 berikut ini :



Tabel 3.1 Matriks rancangan hasil penelitian

Beban (Kg)	Perubahan Gaya (F) Per frame	Perubahan Percepatan ( a ) Per frame
	( $\sum (F_i - F_{i-2})$ )	( $\sum (a_i - a_{i-2})$ )
1 kg		
2 kg		
3 kg		

### 3.1.5 Analisa data penelitian dan pembuatan grafik

Data yang didapat dari penelitian selanjutnya diolah untuk dianalisa dengan menggunakan rumus perhitungan yang ada dan juga dari studi literatur yang ada.

Dari data penelitian yang telah dilakukan selanjutnya akan dilakukan pembuatan grafik serta analisa pembahasan grafik serta struktur permukaan yang ada dari specimen uji. Grafik akan dikaji dan dijelaskan dengan menggunakan teori yang ada.

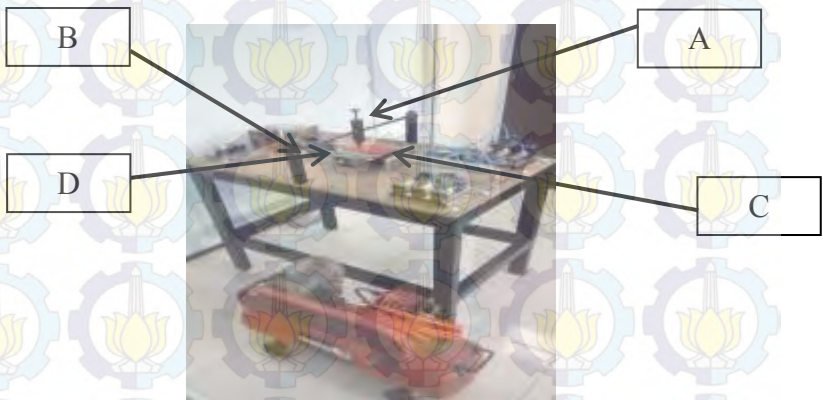
### 3.1.6 . Kesimpulan dan saran

Menyimpulkan dari keseluruhan penelitian yang telah dilakukan kemudian memberikan saran terkait dengan hal-hal yang mendukung dan masukan-masukan. Setelah itu memberikan rekomendasi untuk semua hal yang berhubungan dengan penelitian.

### 3.2. Spesifikasi peralatan tribometer

Spesifikasi alat tribometer *pin-on-plate* yang telah didesain pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Maximum Normal Load : 5 kg
- Sliding distance : 600 m
- Stroke Length (actuator) : 15 cm
- Linier Speed : 70 mm/s, 130 mm/s, 230 mm/s
- Diameter Specimen *Pin* : 8–15mm
- Dimensi Specimen plat uji : 40 mm x 20 mm x 30 mm
- Bahan Pin : *Steel*
- Bahan Plat : *Acrylic*



Gambar 3.8. Konstruksi *tribometer pin-on plate reciprocating* secara tiga dimensi

Keterangan Gambar :

- a. Load control, berfungsi untuk mengatur beban yang akan diberikan pada benda kerja.
- b. Tiang hold pin with flexible mounting berfungsi sebagai holder bagi load control.

- c. Hold pin with lock berfungsi sebagai holder untuk pin atau benda yang akan diuji.
- d. Plate yang akan bergerak secara translasi dan akan kontak dengan pin. Plate ini terbuat dari Stainless steel.

Sedangkan spesifikasi alat ukur yang digunakan adalah :

- a. Untuk mengukur kecepatan putaran dengan berbagai tingkatan level yang dijaga konstan oleh speed control digunakan tachometer.
- b. Untuk menggunakan massa jenis polimer digunakan pyknometer
- c. Untuk mengukur besar beban digunakan timbangan badan.
- d. Untuk menimbang massa pin polimer digunakan timbangan digital dengan keakuratan 1000 mg.

### 3.3 Spesifikasi Spesimen Uji

#### 3.3.1 *Acrylic*

- Nama Material : Acrylic
- *Density* : 1.15 - 1.19 g/cc
- *Konduktivitas Thermal*: 0.19 W/mK
- *Tensile Strength, Ultimate* : 4400-14500 psi
- *Coefficient of Friction* : 0,3- 0,4
- *Elongation* : 5 %
- *Modulus of Elasticity* : 400.000 psi
- *Melting Point* : 180-250 °C

#### 3.3.2 *Steel ST37*

- Nama Material : Steel ST37
- *Density* : 7850 kg/m<sup>3</sup>
- *Tensile Strength, Ultimate* : 625000000 N/m<sup>2</sup>
- *Coefficient of Friction* : 0,4- 0,5
- *Modulus of Elasticity* : 2.05 x 10<sup>11</sup> N/m<sup>2</sup>



## **BAB IV**

### **ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Pengujian Dry Sliding**

Pengujian *dry sliding* dilakukan dengan cara menggesekan *Steel ST37* dengan *Acrylic* secara bolak balik dan tanpa pelumasan. Hasil dari pengujian laju keausan pada *Steel ST37* dan *acrylic* tanpa menggunakan pelumas (*Dry Sliding*) bisa dilihat pada Tabel 4.1-4.3 berikut ini :

**Tabel 4.1** Data perhitungan Gaya Gesek dengan beban 1kg

*Terdapat dilampiran*

**Tabel 4.2** Data perhitungan Gaya Gesek dengan beban 3kg

*Terdapat dilampiran*

**Tabel 4.3** Data perhitungan Gaya Gesek dengan beban 5 kg

*Terdapat dilampiran*

#### **4.2 Perhitungan Pengujian Dry Sliding**

Data yang didapatkan pada pengujian dengan beban 1kg :

Waktu :	T1 = 57,02 detik
	T2 = 57,05 detik
	T3 = 57,09 detik
Jarak :	X1 = 1346 px = 0,13876 m
	X2 = 1352 px = 0,13938 m
	X3 = 1361 px = 0,14031 m
	Skala : 1 cm = 97 px
Pressure :	p = 0,95 bar
Fpressure = 4,75 N	1 bar = 10197,16 kg/m2
Massa : m = 3,447 / N = 33,815	



Ditanyakan : Koefisien Gesek?

Analisis :

$$\text{Perubahan Waktu } \Delta(T_2-T_1) = 57,05 - 57,02 \\ = 0,03 \text{ s}$$

$$\Delta(T_3-T_2) = 57,09 - 57,05 \\ = 0,03$$

$$\text{Perubahan Jarak } \Delta(S_2-S_1) = 0,13876 - 0,13938 \\ = 0,00062$$

$$\Delta(S_3-S_2) = 0,14031 - 0,13938 \\ = 0,00093$$

$$\text{Kecepatan ( } V_{2-1} \text{ )} = \frac{(\Delta S_2 - \Delta S_1)}{\Delta t} \\ = 0,00028 / 0,03 \\ = 0,02062 \text{ m/s}$$

$$\text{Kecepatan ( } V_{3-2} \text{ )} = \frac{(\Delta S_3 - \Delta S_2)}{\Delta t} \\ = 0,00093 \text{ m} / 0,13 \text{ s} \\ = 0,0232 \text{ m/s}$$

$$\text{Percepatan ( } a \text{ )} = V_{3-2} - V_{2-1} / \Delta t \\ = (0,02062 - 0,0232) / 0,6 \\ = 0,03682 \text{ m/s}$$

Lalu Persamaan Newton II :

$$\sum F = m \cdot a$$

$$F - f = m \cdot a \quad \text{dimana : } F = \mu \cdot N$$

$$\mu = (F - (m \cdot a)) / N$$

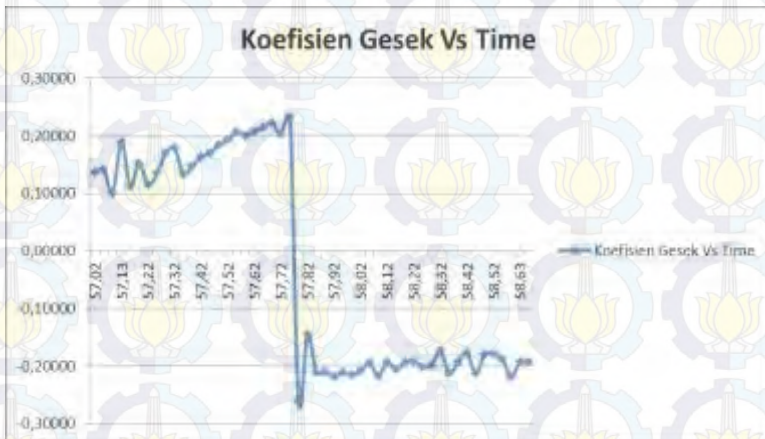
$$\mu = (4,75 - (3 \cdot 0,03682)) / 33,815$$

$$\mu = 0,13$$

### 4.3. Analisa gesekan *stick-slip*

#### 4.3.1 Pada pembebanan 1 kg

Hasil perhitungan data kecepatan, percepatan, dan koefisien gesek yang sudah dilakukan kemudian akan dianalisa ke dalam bentuk grafik untuk dapat dilihat perbandingan antara tiap pembebanan dan kecepatan yang berbeda-beda. Dari grafik tersebut dapat dilakukan analisa perbandingan antara teori dengan hasil eksperimen. Grafik fungsi  $\mu$  terhadap  $t$  pada pembebanan 1 kg dengan grafik di tunjukkan pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Grafik Koefisien gesek ( $\mu$ ) fungsi waktu pada beban 1kg

Pada gambar 4.1 koefisien gesek ( $\mu$ ) yang terjadi pada saat bergerak cenderung konstan. Koefisien gesek rata-rata antara 0,1-0,8  $t = 57,03$  sampai 57,22. Pada Kondisi ini menunjukkan bahwa kontak gesekan antara spesimen dan alat uji mengalami perubahan kecepatan dan percepatan yang terdorong maju oleh pneumatic. Kemudian grafik naik pada saat 57,22 s – 57,32 s dengan koefisien gesek sebesar 0,17. Artinya, nilai koefisien gesek yang di sebabkan oleh efek percepatan mengalami perlambatan

yang mengakibatkan koefisien meningkat dan gaya dorong ( $F_{\text{press}}$ ) pun meningkat. Kemudian grafik mengalami penurunan saat 57,35s dengan nilai koefisien gesek 0,13. Artinya penurunan koefisien gesek ini disebabkan oleh percepatan yang tiba-tiba diam seaat lalu kembali bergerak kembali. Kemudian grafik menunjukkan kenaikan koefisien gesek pada 57,35 s sampai 57,69s. artinya pada kondisi ini pneumatic sudah tidak bergerak (diam) dan gaya dorong ( $F_{\text{press}}$ ) meningkat. Meningkatnya  $F_{\text{press}}$  disebabkan benda pada saat kondisi diam dan berubah ke kondisi bergerak membutuhkan gaya dorong yang cukup besar untuk bergerak. Ini ditunjukkan pada  $F_{\text{pressure}}$  yang meningkat pada 5,7 N – 8,0 N. Grafik pada 57,69s – 57,75 menunjukkan penurunan koefisien lalu kembali naik dan diam. Artinya nilai koefisien gesek yang disebabkan oleh efek percepatan mengalami fenomena stick-slip. Yaitu kondisi plate kondisi statis (diam) sesaat bergerak kemudian kembali diam. Besarnya nilai dari koefisien geseknya adalah 0,2. Grafik pada saat 57,79 s – 57,85 cenderung naik turun, ini menunjukkan bahwa pada kondisi ini grafik mengalami stick-slip. Ini ditunjukkan pada saat 57,79s koefisien gesek sebesar 0,26 kemudian menurun pada 57,82 s sebesar 0,14 kemudian sesaat naik kembali pada 57,85 sebesar 0,21. Artinya koefisien gesek yang disebabkan oleh percepatan sesaat mengalami perlambatan. Perlambatan yang dialami ini dikarenakan adanya stick-slip yang mengakibatkan terjadi perubahan koefisien gesek. Selanjutnya koefisien gesek bergerak konstan rata-rata 0,19-0,22.

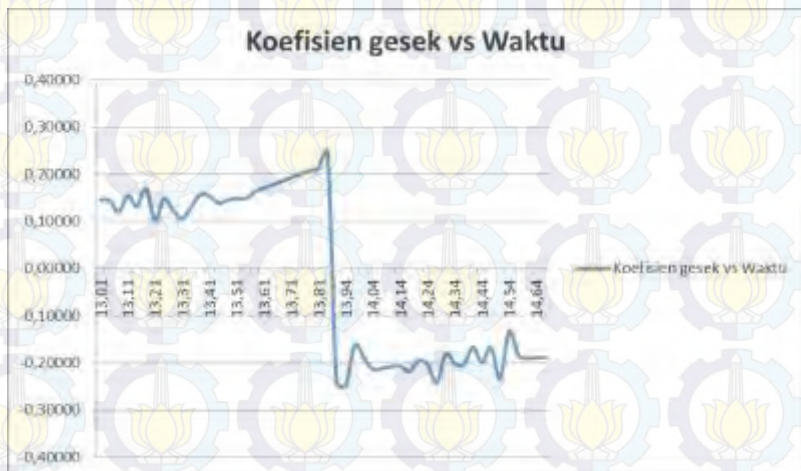
Tren grafik tersebut ada yang memiliki gaya positif (gaya dorong) dan gaya negative (gaya tarik). Hal ini disebabkan oleh kecepatan saat pengujian. Di sini kecepatan yang dipakai adalah tergantung dari perubahan jarak dari setiap frame-frame. Dari perubahan frame tersebut kita dapat mencari percepatan dan gaya gesek yang didapat. Adanya tren grafik yang memiliki jarak  $f$  yang lebar dan sempit mengindikasikan bahwa nilai koefisien  $\mu$  tersebut bergantung pada percepatan dan massa. Sesuai dengan perumusan berikut  $F - \mu N = m.a$ . Sehingga nilai gaya  $\mu$  dapat



diketahui sebagai berikut :  $\mu = F-(m.a)/N$ . Dalam perumusan tersebut nilai gaya (F) konstan tetapi yang berubah yaitu perubahan massa specimen yang mengalami keausan dan percepatannya. Efek dari *stick-slip* ini dapat dibuktikan dengan adanya keausan pada permukaan material uji akibat adanya pengaruh percepatan dan pembebanan.

#### 4.3.2 Pada pembebanan 3 kg

Hasil perhitungan data kecepatan, percepatan, dan nilai koefisien gesek yang sudah dilakukan kemudian akan dianalisa ke dalam bentuk grafik untuk dapat dilihat perbandingan antara tiap pembebanan dan kecepatan yang berbeda-beda. Dari grafik tersebut dapat dilakukan analisa perbandingan antara teori dengan hasil eksperimen. Grafik fungsi  $\mu$  terhadap t pada pembebanan 3 kg dengan grafik di tunjukan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Koefisien gesek ( $\mu$ ) fungsi waktu pada beban 3kg

Pada gambar 4.2 koefisien gesek ( $\mu$ ) yang terjadi pada saat bergerak cenderung konstan. Koefisien gesek rata-rata antara 0,1-0,7 t = 13,01 sampai 13,31. Pada Kondisi ini menunjukkan



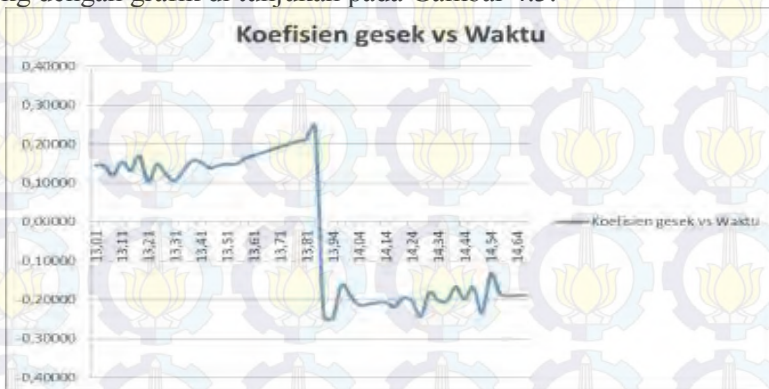
bahwa kontak gesekan antara spesimen dan alat uji mengalami perubahan kecepatan dan percepatan yang terdorong maju oleh pneumatic. Kemudian grafik naik pada saat 13,31 s – 13,38 s dengan koefisien gesek sebesar 0,15. Artinya, nilai koefisien gesek yang disebabkan oleh efek percepatan mengalami perlambatan yang mengakibatkan koefisien meningkat dan gaya dorong ( $F_{press}$ ) pun meningkat. Kemudian grafik mengalami penurunan saat 13,44s dengan nilai koefisien gesek 0,15. Artinya penurunan koefisien gesek ini disebabkan oleh percepatan yang tiba-tiba diam sekuat lalu kembali bergerak kembali. Kemudian grafik menunjukkan kenaikan koefisien gesek pada 13,44 s sampai 13,78 s. artinya pada kondisi ini pneumatic sudah tidak bergerak (diam) dan gaya dorong ( $F_{press}$ ) meningkat. Meningkatnya  $F_{press}$  disebabkan benda pada saat kondisi diam dan berubah ke kondisi bergerak membutuhkan gaya dorong yang cukup besar untuk bisa bergerak. Ini ditunjukkan pada  $F_{pressure}$  yang meningkat pada 5,0 N – 8,0 N. Grafik pada 13,78 s – 13,84 s menunjukkan kenaikan. Artinya nilai koefisien gesek yang disebabkan oleh efek percepatan mengalami fenomena stick-slip. Yaitu kondisi plate kondisi statis (diam) sesaat bergerak kemudian kembali diam. Besarnya nilai dari koefisien geseknya adalah 0,24. Grafik pada saat 13,91 s – 14,04 s cenderung turun dan naik kembali, ini menunjukkan bahwa pada kondisi ini grafik mengalami stick-slip. Ini ditunjukkan pada saat 13,91s koefisien gesek sebesar 0,24 kemudian menurun pada 13,98 s sebesar 0,16 kemudian sesaat naik kembali pada 14,04 sebesar 0,21. Artinya koefisien gesek yang disebabkan oleh percepatan sesaat mengalami perlambatan. Perlambatan yang dialami ini dikarenakan adanya stick-slip yang mengakibatkan terjadi perubahan koefisien gesek. Selanjutnya koefisien gesek bergerak konstan rata-rata 0,18-0,24.

Tren grafik tersebut ada yang memiliki gaya positif (gaya dorong) dan gaya negative (gaya tarik). Hal ini disebabkan oleh kecepatan saat pengujian. Di sini kecepatan yang dipakai adalah tergantung dari perubahan jarak dari setiap frame-frame. Dari

perubahan frame tersebut kita dapat mencari percepatan dan gaya gesek yang didapat. Adanya tren grafik yang memiliki jarak  $f$  yang lebar dan sempit mengindikasikan bahwa nilai koefisien  $\mu$  tersebut bergantung pada percepatan dan massa. Sesuai dengan perumusan berikut  $F - \mu N = m \cdot a$ . Sehingga nilai gaya  $\mu$  dapat diketahui sebagai berikut :  $\mu = F - (m \cdot a) / N$ . Dalam perumusan tersebut nilai gaya ( $F$ ) konstan tetapi yang berubah yaitu perubahan massa specimen yang mengalami keausan dan percepatannya. Efek dari *stick-slip* ini dapat dibuktikan dengan adanya keausan pada permukaan material uji akibat adanya pengaruh percepatan dan pembebanan.

#### 4.3.3 Pada pembebanan 5 kg

Hasil perhitungan data kecepatan, percepatan, dan koefisien gesek yang sudah dilakukan kemudian akan dianalisa ke dalam bentuk grafik untuk dapat dilihat perbandingan antara tiap pembebanan dan kecepatan yang berbeda-beda. Dari grafik tersebut dapat dilakukan analisa perbandingan antara teori dengan hasil eksperimen. Grafik fungsi  $\mu$  terhadap  $t$  pada pembebanan 5 kg dengan grafik di tunjukan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Koefisien gesek ( $\mu$ ) fungsi waktu pada beban 5kg

Pada gambar 4.3 koefisien gesek ( $\mu$ ) yang terjadi pada saat bergerak cenderung konstan. Koefisien gesek rata-rata antara

0,8-0,21 t = 20,2 sampai 20,18. Pada Kondisi ini menunjukkan bahwa kontak gesekan antara spesimen dan alat uji mengalami perubahan kecepatan dan percepatan yang terdorong maju oleh pneumatic. Grafik pada saat 20,18 s – 20,22 s cenderung turun dan naik kembali, ini menunjukkan bahwa pada kondisi ini grafik mengalami stick-slip. Ini ditunjukkan pada saat 20,18s koefisien gesek sebesar 0,17 kemudian naik pada 20,22 s sebesar 0,35 kemudian sesaat turun pada 20,25 sebesar 0,2. Artinya koefisien gesek yang disebabkan oleh percepatan sesaat mengalami percepatan sesaat. Percepatan yang dialami ini dikarenakan adanya stick-slip yang mengakibatkan terjadi perubahan koefisien gesek. Kemudian grafik menunjukkan kenaikan koefisien gesek pada 20,65 s sampai 20,48 s. artinya pada kondisi ini pneumatic sudah tidak bergerak (diam) dan gaya dorong ( $F_{press}$ ) meningkat. Meningkatnya  $F_{press}$  disebabkan benda pada saat kondisi diam dan berubah ke kondisi bergerak membutuhkan gaya dorong yang cukup besar untuk bisa bergerak. Ini ditunjukkan pada  $F_{pressure}$  yang meningkat pada 10,0 N – 12,0 N. Grafik pada 21,48 s – 21,55 s menunjukkan naik turun. Artinya nilai koefisien gesek yang disebabkan oleh efek percepatan mengalami fenomena stick-slip. Yaitu kondisi plate kondisi statis (diam) sesaat bergerak kemudian kembali diam. Besarnya nilai dari koefisien geseknya adalah 0,24. Grafik pada saat 21,58 s – 21,68 s cenderung turun dan naik kembali, ini menunjukkan bahwa pada kondisi ini grafik mengalami stick-slip. Ini ditunjukkan pada saat 21,58s koefisien gesek sebesar 0,23 kemudian menurun pada 21,62 s sebesar 0,16 kemudian sesaat naik kembali pada 21,68 sebesar 0,2. Artinya koefisien gesek yang disebabkan oleh percepatan sesaat mengalami perlambatan. Perlambatan yang dialami ini dikarenakan adanya stick-slip yang mengakibatkan terjadi perubahan koefisien gesek. Selanjutnya koefisien gesek bergerak konstan rata-rata 0,16-0,21.

Tren grafik tersebut ada yang memiliki gaya positif (gaya dorong) dan gaya negative (gaya tarik). Hal ini disebabkan oleh kecepatan saat pengujian. Di sini kecepatan yang dipakai adalah



tergantung dari perubahan jarak dari setiap frame-frame. Dari perubahan frame tersebut kita dapat mencari percepatan dan gaya gesek yang didapat. Adanya tren grafik yang memiliki jarak  $f$  yang lebar dan sempit mengindikasikan bahwa nilai koefisien  $\mu$  tersebut bergantung pada percepatan dan massa. Sesuai dengan perumusan berikut  $F - \mu N = m.a$ . Sehingga nilai gaya  $\mu$  dapat diketahui sebagai berikut :  $\mu = F - (m.a)/N$ . Dalam perumusan tersebut nilai gaya ( $F$ ) konstan tetapi yang berubah yaitu perubahan massa specimen yang mengalami keausan dan percepatannya. Efek dari *stick-slip* ini dapat dibuktikan dengan adanya keausan pada permukaan material uji akibat adanya pengaruh percepatan dan pembebanan.

#### 4.4 Perbandingan Stick Slip dengan Beban 1kg, 3kg, dan 5kg.

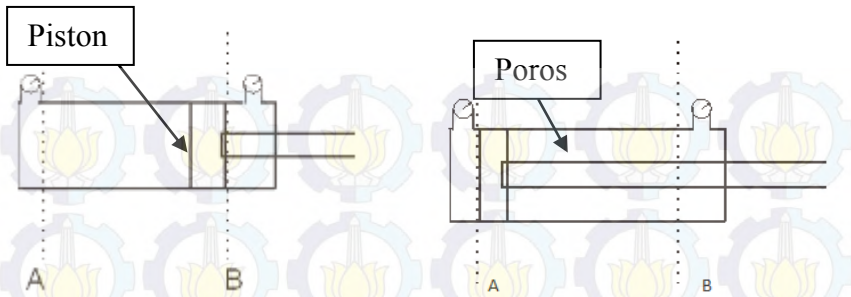
Pada fenomena stick-slip yang terjadi, bahwa pada satu sekali gerakan bolak-balik pada pneumatic. Pada setiap kenaikan pembebanan waktu yang diperlukan untuk kembali bergerak semakin lama. Ini di tunjukkan pada tabel 4.1 pada pembebanan 1kg watu yang diperlukan untuk kembali bergerak adalah 0,5s dan meningkat pada beban 3kg sebesar 0,57s dan pada beban 5 kg sebesar 1,07 s. lalu pada gaya dorong dan koefisien gesek meningkat dari pembebanan 1 kg sampai 5kg, kenaikan gaya dorong di dasari oleh pembebanan.

Tabel 4.1 Perbandingan Beban 1kg, 3kg dan 5kg

	Waktu	Gaya	Koefisien Gaya Gesek
Beban 1kg	0,5	4N - 7 N	0,16 - 0,23
Beban 3kg	0,57	6 N - 7 N	0,16 - 0,24
Beban 5kg	1,07	10 - 12 N	0,2 - 0,27

Ada satu hal yang diabaikan dalam penelitian ini, yaitu perbedaan luas permukaan silinder pneumatic pada posisi dorong dan tarik yang di tunjukkan pada gambar 4.4.





Gambar 4.4 Posisi Piston Pneumatic saat Gaya Dorong dan Gaya Tarik

Perhitungan pengaruh luas permukaan poros :

Luas Permukaan Piston = 0,00049 m<sup>2</sup>

Luas Permukaan Poros = 0,00001 m<sup>2</sup>

Pressure = 1 bar = 10.591 kgf/m<sup>2</sup>

Percepatan (a) = 0,2115 m/s

Massa (m) = 1kg

Assumsi : Tekanan/Pressure, percepatan dianggap sama.

Analisi 1. Pada saat Gaya Dorong Piston

$$\Sigma F = m \cdot a$$

$$F - f = m \cdot a \quad \text{dimana : } F = \mu \cdot N$$

$$\mu = (F - (m \cdot a)) / N$$

$$\mu = ((10.591 \cdot 0,00049) - (1 \cdot 0,2115)) / 14,151$$

$$\mu = 0,35$$

Analisis 2. Pada saat Gaya Tarik Piston

$$\Sigma F = m \cdot a$$

$$F - f = m \cdot a \quad \text{dimana : } F = \mu \cdot N$$

$$\mu = (F - (m \cdot a)) / N$$

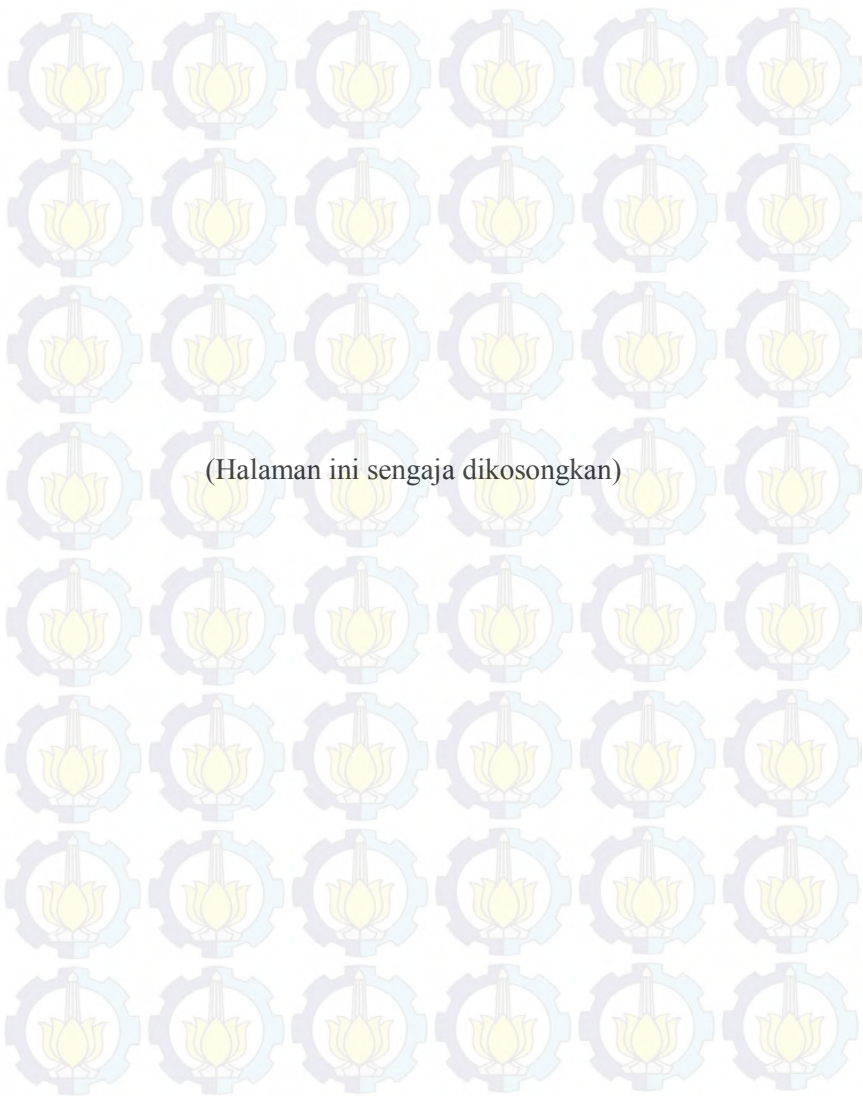
$$\mu = ((1 \cdot (0,00049 - 0,00001)) - (1 \cdot -0,2115)) / 14,151$$

$$\mu = 0,344$$

Pengaruh Luas penampang poros terhadap gaya gesek

$$0,0039 - 0,0037 = 0,0002$$

Dijelaskan dalam perhitungan bahwa pada saat gaya dorong pneumatic dengan luan penampang piston, didapatkan koefisien gesek sebesar 0,35 dan pada saat gaya tarik piston dengan kondisi luas poros diperhitungkan dengan mengurangi selisih antara luas piston dan luas poros didapatkan hasil koefisien gesek sebesar 0,34. Ini membuktikan bahwa pengaruh luas permukaan poros pada saat piston bergerak menarik pneumatikk tidak terlalu signifikan selisihnya, yaitu sebesar 0,01 atau 1% dari koefisien gesek dengan kondisi luas permukaan poros tidak dimasukkan dalam perhitungan. Oleh karena itu pada penelitian ini luas permukaan poros tidak dimasukkan ke dalam perhitungan.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Fase waktu terjadi stick-slip pada pembebanan 1kg, 3kg, dan 5kg cenderung meningkat. Pada beban 1kg waktu yang di butuhkan dari keadaan bergerak diam kemudian bergerak kembali rata-rata adalah 0,5s, pada beban 3kg rata-rata adalah 0,57 dan pada beban 5kg adalah 1,2 s
2. Koefisien gesek pada pembebanan 1kg, 3kg, dan 5kg cenderung meningkat. Pada beban 1kg rata-rata 0,16-0,25, pada beban 3 kg rata-rata 0,16–0,24, dan pada beban 5 kg rata rata 0,2 – 0,27.
3. Pada gaya dorong dari pneumatic dengan pembebanan 1kg rata-rata 4N-7N, pada pembebanan 3kg rata-rata 6N-7N, dan pada beban 5kg rata-rata 10N-12N.
4. Tren grafik dalam eksperimen ini ada yang memiliki gaya positif (gaya dorong) dan gaya negative (gaya tarik). Tergantung dari kecepatan uji yang digunakan. Dengan demikian untuk mencapai kondisi dari berhenti hingga kembali berhenti lagi selama 1 siklus dibutuhkan waktu yang berbeda-beda untuk tiap kecepatan dan pembebanan.

#### **5.2 Saran**

Penelitian ini masih memiliki adanya kekurangan, oleh karena itu penulis mempunyai beberapa saran, yaitu:

1. Pada penelitian ini digunakan alat tribometer dengan gerakan *reciprocating* dengan mekanisme penggerak silinder pneumatic yang masih butuh banyak perbaikan. Sehingga masih bisa dikembangkan dengan pembuatan alat yang lebih baik.
2. Jarak tempuh yang digunakan untuk penelitian sebaiknya diperpanjang untuk meningkatkan ketelitian dari hasil uji



eksperimen dan memperjelas hasil permukaan akibat gesekan *stick-slip*.

3. Sebaiknya ditambahkan sensor waktu untuk mendapatkan keakuratan waktu yang didapat dalam pengambilan data. Sehingga kita tidak nantinya akan mendapatkan waktu yang akurat saat plate kondisi maju dan kondisi mundur.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Woog Leea Dong, Xavier Banquya, and Jacob N. Israelachvilia. 2012. *Stick-Slip friction and wear of articular joints*. California
2. Yoon, S.W., M.W. Shin, W.G. Lee, H. Jang. 2012. *Effect of Surface Contact Conditions on the Stick-Slip Behavior of Brake Friction Material*. Amsterdam : Elsevier Scientific
3. Prayogi, Tegar. 2010. *Rancang Bangun Tribometer Tipe Pin on Disk dan Studi Eksperimental Karakteristik Tribology Polimer-polimer*. Surabaya.
4. Teguh Sunyoto.2015. *Studi Eksperimen Analisa Keausan Material Antara Baja Dengan Akrilik Akibat Adanya Stick-Slip Friction Pada Tribometer Pin-On-Plate*. Surabaya.
5. Solichin, M.2012. *Studi Eksperimental Laju Keausan (Specific Wear Rate) antara Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) dengan Stainless Steel sebagai sendi lutut buatan (Total Knee Replacement Prosthesis) manusia*. Surabaya.
6. Archard, J.F. 1995. *Wear Control Handbook*. New York : ASME Centennial Research Project.
7. Bhushan, Bharat. 2013. *Introduction to Tribology*. New York : John Wiley & Sons, INC.
8. Bhushan, Bharat. 2001. *Modern Tribology Handbook Volume I*. USA : CRC Press.
9. Bhushan, Bharat. 2013. *Principles and Applications of Tribology*. New York : John Wiley & Sons, INC.

# Lampiran 1. Pengujian Dengan Pengujian 1kg

1cm = 97 px

1 bar = 10.197,16 kg/m<sup>2</sup>

No	t(s)	X(px)	P(bar)	Scale	X(m)	ΔX(m)
1	57,02	1346	0,95	97	0,13876	0,00062
2	57,05	1352	0,95	97	0,13938	0,00093
3	57,09	1361	0,95	97	0,14031	0,00093
4	57,13	1370	0,95	97	0,14124	0,00093
5	57,15	1379	0,95	97	0,14216	0,00072
6	57,19	1386	0,95	97	0,14289	0,00113
7	57,22	1397	0,85	97	0,14402	0,00093
8	57,25	1406	0,9	97	0,14495	0,00155
9	57,29	1421	0,95	97	0,14649	0,00113
10	57,32	1432	1	97	0,14763	0,00062
11	57,35	1438	0,9	97	0,14825	0,00000
12	57,39	1438	1	97	0,14825	0,00000
13	57,42	1438	1,1	97	0,14825	0,00000
14	57,45	1438	1,15	97	0,14825	0,00000
15	57,49	1438	1,25	97	0,14825	0,00000
16	57,52	1438	1,3	97	0,14825	0,00000
17	57,55	1438	1,4	97	0,14825	0,00000
18	57,59	1438	1,35	97	0,14825	0,00000
19	57,62	1438	1,4	97	0,14825	0,00000
20	57,65	1438	1,45	97	0,14825	0,00000
21	57,69	1438	1,5	97	0,14825	0,00000
22	57,72	1438	1,55	97	0,14825	0,00000
23	57,75	1438	1,6	97	0,14825	-0,00072
24	57,79	1431	-1,45	97	0,14753	-0,00062
25	57,82	1425	-1,45	97	0,14691	-0,00144
26	57,85	1411	-1,43	97	0,14546	0,00000

27	57,89	1411	-1,42	97	0,14546	0,00000
28	57,92	1411	-1,4	97	0,14546	0,00000
29	57,95	1411	-1,4	97	0,14546	-0,00031
30	57,99	1408	-1,38	97	0,14515	-0,00031
31	58,02	1405	-1,38	97	0,14485	-0,00052
32	58,05	1400	-1,35	97	0,14433	-0,00082
33	58,09	1392	-1,35	97	0,14351	-0,00052
34	58,12	1387	-1,35	97	0,14299	-0,00082
35	58,15	1379	-1,35	97	0,14216	-0,00093
36	58,19	1370	-1,35	97	0,14124	-0,00082
37	58,22	1362	-1,35	97	0,14041	-0,00072
38	58,25	1355	-1,3	97	0,13969	-0,00072
39	58,29	1348	-1,3	97	0,13897	-0,00072
40	58,32	1341	-1,29	97	0,13825	-0,00082
41	58,35	1333	-1,29	97	0,13742	-0,00062
42	58,39	1327	-1,3	97	0,13680	-0,00093
43	58,42	1318	-1,3	97	0,13588	-0,00093
44	58,45	1309	-1,3	97	0,13495	-0,00082
45	58,49	1301	-1,3	97	0,13412	-0,00103
46	58,52	1291	-1,3	97	0,13309	-0,00082
47	58,55	1283	-1,3	97	0,13227	-0,00072
48	58,59	1276	-1,3	97	0,13155	-0,00062
49	58,63	1270	-1,3	97	0,13093	-0,00062
50	58,65	1264	-1,3	97	0,13031	-0,13031



konversi	Pressure(Kg/m2)	$\Delta t$	rpiston (m)	Lp (m <sup>2</sup> )
10197,16	9687,302	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	9687,302	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	9687,302	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	9687,302	0,02	0,0125	0,00049
10197,16	9687,302	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	9687,302	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	8667,586	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	9177,444	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	9687,302	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	10197,16	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	9177,444	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	10197,16	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	11216,876	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	11726,734	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	12746,45	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	13256,308	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	14276,024	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	13766,166	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	14276,024	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	14785,882	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	15295,74	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	15805,598	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	16315,456	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	-14785,882	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-14785,882	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-14581,9388	0,04	0,0125	0,00049

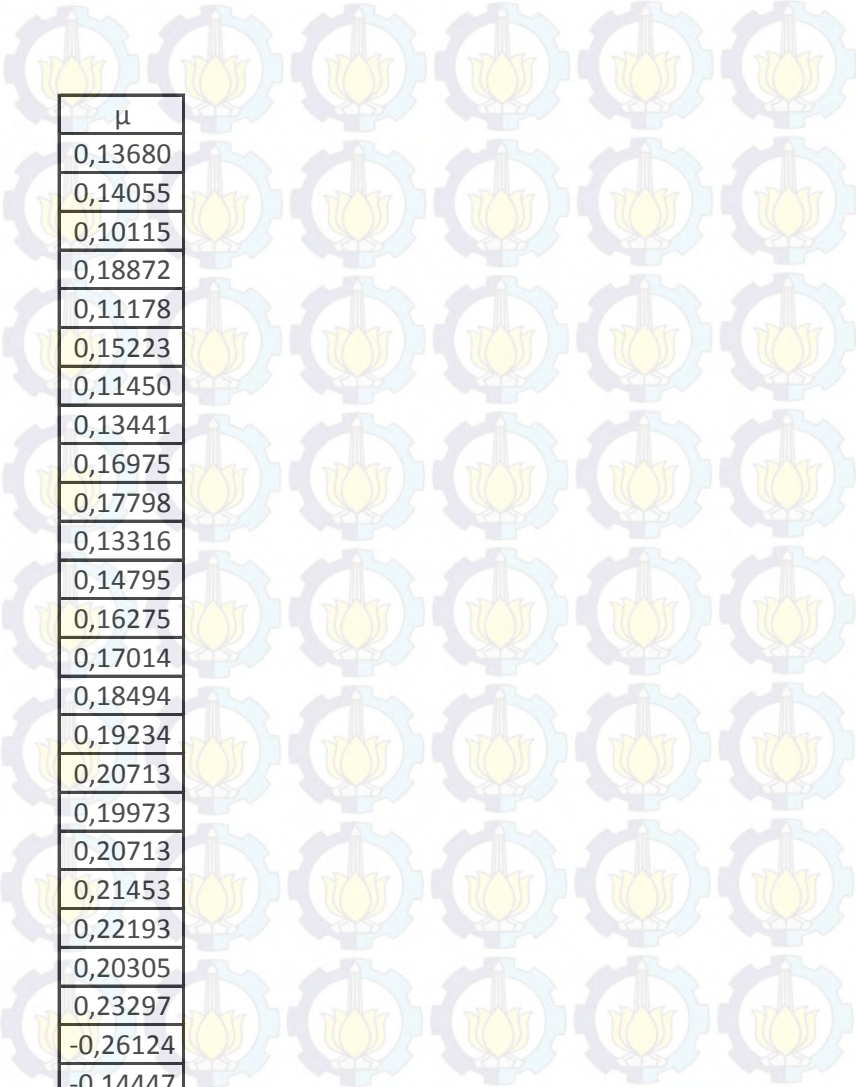
10197,16	-14479,9672	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-14276,024	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-14276,024	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	-14072,0808	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-14072,0808	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-13766,166	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	-13766,166	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-13766,166	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-13766,166	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	-13766,166	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-13766,166	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-13256,308	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	-13256,308	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-13154,3364	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-13154,3364	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	-13256,308	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-13256,308	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-13256,308	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	-13256,308	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-13256,308	0,03	0,0125	0,00049
10197,16	-13256,308	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	-13256,308	0,04	0,0125	0,00049
10197,16	-13256,308	0,02	0,0125	0,00049
10197,16	-13256,308	-58,65	0,0125	0,00049

Fpress (N)	(V) m/s	(a) m/s <sup>2</sup>	m (kg)	m.a	(N)
4,75283	0,02062	0,03682	3,447	0,12691	33,81507
4,75283	0,02320	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
4,75283	0,02320	0,38660	3,447	1,33260	33,81507
4,75283	0,04639	-0,47251	3,447	-1,62874	33,81507
4,75283	0,01804	0,28228	3,447	0,97301	33,81507
4,75283	0,03780	-0,11455	3,447	-0,39485	33,81507
4,25253	0,03093	0,11046	3,447	0,38074	33,81507
4,50268	0,03866	-0,01227	3,447	-0,04230	33,81507
4,75283	0,03780	-0,28637	3,447	-0,98711	33,81507
5,00298	0,02062	-0,29455	3,447	-1,01532	33,81507
4,50268	0,00000	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
5,00298	0,00000	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
5,50328	0,00000	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
5,75343	0,00000	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
6,25373	0,00000	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
6,50388	0,00000	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
7,00417	0,00000	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
6,75403	0,00000	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
7,00417	0,00000	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
7,25432	0,00000	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
7,50447	0,00000	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
7,75462	0,00000	0,25773	3,447	0,88840	33,81507
8,00477	0,01804	0,03682	3,447	0,12691	33,81507
-7,25432	0,02062	0,45819	3,447	1,57938	33,81507
-7,25432	0,04811	-0,68729	3,447	-2,36907	33,81507
-7,15426	0,00000	0,00000	3,447	0,00000	33,81507



-7,10423	0,00000	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
-7,00417	0,00000	0,11046	3,447	0,38074	33,81507
-7,00417	0,00773	0,03682	3,447	0,12691	33,81507
-6,90411	0,01031	0,11455	3,447	0,39485	33,81507
-6,90411	0,01718	0,04909	3,447	0,16922	33,81507
-6,75403	0,02062	-0,04909	3,447	-0,16922	33,81507
-6,75403	0,01718	0,17182	3,447	0,59227	33,81507
-6,75403	0,02749	-0,06136	3,447	-0,21152	33,81507
-6,75403	0,02320	0,06136	3,447	0,21152	33,81507
-6,75403	0,02749	-0,05727	3,447	-0,19742	33,81507
-6,75403	0,02405	-0,08591	3,447	-0,29613	33,81507
-6,50388	0,01804	0,08591	3,447	0,29613	33,81507
-6,50388	0,02405	0,05727	3,447	0,19742	33,81507
-6,45385	0,02749	-0,17182	3,447	-0,59227	33,81507
-6,45385	0,01546	0,22091	3,447	0,76149	33,81507
-6,50388	0,03093	0,00000	3,447	0,00000	33,81507
-6,50388	0,03093	-0,14728	3,447	-0,50766	33,81507
-6,50388	0,02062	0,19637	3,447	0,67688	33,81507
-6,50388	0,03436	-0,11455	3,447	-0,39485	33,81507
-6,50388	0,02749	-0,13500	3,447	-0,46535	33,81507
-6,50388	0,01804	-0,03222	3,447	-0,11105	33,81507
-6,50388	0,01546	0,25773	3,447	0,88840	33,81507
-6,50388	0,03093	0,00057	3,447	0,00195	33,81507
-6,50388	-0,00222	-0,00004	3,447	-0,00013	33,81507





$\mu$
0,13680
0,14055
0,10115
0,18872
0,11178
0,15223
0,11450
0,13441
0,16975
0,17798
0,13316
0,14795
0,16275
0,17014
0,18494
0,19234
0,20713
0,19973
0,20713
0,21453
0,22193
0,20305
0,23297
-0,26124
-0,14447
-0,21157

-0,21009
-0,21839
-0,21088
-0,21585
-0,20918
-0,19473
-0,21725
-0,19348
-0,20599
-0,19390
-0,19098
-0,20109
-0,19817
-0,17334
-0,21338
-0,19234
-0,17732
-0,21235
-0,18066
-0,17857
-0,18905
-0,21861
-0,19239
-0,19233

## BIODATA PENULIS



**Ruben Simatupang** dilahirkan di Cirebon, 17 Mei 1992, merupakan keturunan Batak Sumatra Utara. anak yang terlahir dari orang tua terbaik bernama Marihot Simatupang dan Dermawan Silitonga. Penulis selama hidupnya telah menempuh pendidikan formal di SD Kristen BPK PENABUR Cirebon, SMP Kristen 1 BPK PENABUR, dan SMA Kristen 1 BPK PENABUR Cirebon. Setelah tamat pendidikan SMA tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan tingkat sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya melalui jalur tes tertulis.

Di jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, penulis aktif dalam berbagai kegiatan kemahasiswaan dan aktif sebagai pengurus di Himpunan Mahasiswa Mesin FTI-ITS dan kegiatan di luar kampus. Pernah menjabat sebagai Staff Eksternal KWU HMM FTI ITS Periode 2011-2012, Kepala Biro *Entrepreneur* KWU-HMM FTI ITS Periode 2012-2013, , *Chief of Media Partner* kegiatan Mechanical City 2012. Serta terlibat aktif dalam kegiatan pelatihan di LKMM Pra-TD FTI ITS, LKMM TD HMM FTI ITS. Diluar kampus penulis aktif dalam kegiatan MOLINA (Mobil Listrik Nasional) pada Periode 2013-2015, dan Sebagai Manager Electrical Solarcar 2015. Hal yang memotivasi penulis untuk melakukan semua ini adalah karena penulis ingin mencari tantangan baru yang belum pernah dialami. Dan Akhirnya saat ini penulis telah berhasil menyelesaikan pendidikan Sarjana-nya ditahun 2016, Penulis dapat dihubungi melalui e-mail di: dewifasholi@gmail.com



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*